08 | 经验总结：必须熟记的一组常用性能数字

2019-12-13 庄振运

性能工程高手课 进入课程 >

讲述：庄振运
时长 14:14　大小 13.04M

你好，我是庄振运。

今天这一讲是”数理基础“这一部分的最后一讲，我在这一讲会给你总结一组性能相关的常用的数字。这些数字在做性能和设计方面的工作时经常用到。它们就像九九乘法表一样，我希望你能熟记在心。

记住这些数字的好处是，每次看到一个性能相关的数据的时候，我们立刻就能知道这个性能数据有没有问题。

举个简单例子，如果我们看到一个硬盘的 IO 读写延迟经常在 500 毫秒左右，我们立刻就知道这里面有性能问题。反之，如果硬盘 IO 读写延迟小于 1 毫秒，我们可以马上推断

——这些 IO 读写并没有到达硬盘那里，是被操作系统缓存挡住了。这就是大家常说的“对数字有感觉”。

人们常说“腹有诗书气自华”。同理，如果我们能对系统和程序运行中常见的性能指标了如指掌，就有可能达到那种“一眼就看出问题”的大师级别。

为了方便理解和记忆，我把这些数字分成几大类，分别是存储、CPU、操作系统、内存和网络等，并且会给出具体的单个数值。

有言在先

但是我必须强调说明的是，我之所以给出具体的单个数值，是为了方便你记忆，并让你对性能指标“有感觉”。因为**单个值**比给出**数值范围**更直观。

比如传统硬盘的 IO 延迟，如果我冠冕堂皇地说：“IO 延迟的大小取决于很多因素，比如硬盘型号、IO 大小、随机还是连续、磁头离数据的远近等，从小于 1 毫米到几秒钟不等。“这样的说法当然对，但是并不能帮助你找到数字的感觉，所以直观指导意义不是很大。

所以我想强调，我给出的数字仅供参考，帮助你记忆和理解，更重要的目的是**让你对不同环境下的性能数据有所感觉**。你要更加注重它们之间的量级比较，比如 SSD 的随机 IOPS 的性能，可以轻松地达到普通硬盘 HDD 的 1000 倍以上。

至于具体的性能数字的值大小，却也可能对一个非常具体的场景不那么匹配。这有几个原因：

1. 因为市场上有很多种类和很多厂家的产品，具体的值都不一样，比如 SSD 的一些性能指标就是如此。
2. 因为每个具体场景都不同，比如 IO 的读写大小。还有就是我们的技术不断进步，就如同 CPU 的频率，具体的值是一直在变的。

这些性能数据多半和**延迟**有关，所以要弄清楚这些延迟的单位。你应该都知道，一秒钟是 1000 毫秒（ms），一毫秒是 1000 微秒（us），一微秒是 1000 纳秒（ns）。

存储相关

我们先看存储相关的性能数据。存储有很多种，常用的是传统硬盘（HDD, Hard Drive Disk）和固态硬盘（SSD, Solid State Drive）。硬盘的厂家和产品多种多样，而且具体的配置也有很多种，比如大家熟悉的磁盘阵列（RAID)。我们这里仅仅选取最普遍的硬盘和最简单的配置。

值得一说的是 SSD。最近几年，SSD 的技术发展和市场演化非常迅速。随着市场规模的增大和技术的进步，SSD 的价格已经极大地降低了。在很多大规模的在线后台系统中，SSD 几乎已经成了标准配置。

SSD 的种类很多，按照技术来说有单层（SLC）和多层（MLC，TLC 等）。按照质量和性能来分，有企业级和普通级。根据安装的接口和协议来分，有 SAS、SATA、PCIe 和 NVMe 等。

对所有的存储来说，有三个基本的性能指标。

1. IO 读写延迟。一般是用 4KB 大小的 IO 做基准来测试；
2. IO 带宽，一般是针对比较大的 IO 而言；
3. IOPS，就是每秒钟可以读写多少个小的随机 IO。

下面这个表格列出了几种存储介质和它们的性能数值。

存储种类	随机4KB-IO延迟	IO带宽	随机IOPS
传统硬盘（HDD）	8 ms	150 MB/s	120
SSD（SATA）	100 us	500 MB/s	30K
SSD（NVMe）	20 us	4 GB/s	400K

极客时间

我们这里考虑三种情况： 传统硬盘，SATA SSD 和 NVMe SSD。你可以看到，一般传统硬盘的随机 IO 读写延迟是 8 毫秒的样子，IO 带宽大约 100MB 每秒，而随机 IO 读写一般就是每秒 100 出头。

SSD 的随机 IO 延迟比传统硬盘快百倍以上，IO 带宽也高很多倍，随机 IOPS 更是快了上千倍。

CPU 和内存相关

再来看看 CPU。说起 CPU 相关的性能数字，就必须先说 CPU 的时钟频率，也就是主频。主频反映了 CPU 工作节拍，也就直接决定了 CPU 周期大小。

主频和周期大小。比如基于英特尔 Skylake 微处理器架构的 i7 的一款，其主频为 4GHz，那么每一个时钟周期（Cycle）大约0.25 纳秒（ns）。

CPU 运行程序时，最基本的执行单位是指令。而每一条指令的执行都需要经过四步：指令获取、指令解码、指令执行、数据存入。这些操作都是按照 CPU 周期来进行的，一般需要好几个周期。

CPI 和 IPC

每个指令周期数 CPI 和每个周期指令数 IPC 其实是孪生兄弟，衡量的是同一个东西。

CPI（cycles per instruction）衡量平均每条指令的平均时钟周期个数。它的反面是 IPC（instructions per cycle）。虽然一个指令的执行过程需要多个周期，但 IPC 是可以大于 1 的，因为现代 CPU 都采用流水线结构。一般来讲，测量应用程序运行时的 IPC，如果**低于 1**，这个运行的系统性能就不是太好，需要做些优化来提高 IPC。

MIPS

MIPS 就是每秒执行的百万指令数。

我们经常会需要比较不同 CPU 硬件的性能，MIPS 就是一个很好的指标，一般来讲，MIPS 越高，CPU 性能越高。MIPS 可以通过主频和 IPC 相乘得到，也就是说 MIPS= 主频 ×IPC。这个很容易理解，比如一个 CPU 频率再高，IPC 是 0 的话，性能就是 0。假设一个

CPU 的主频是 4GHz，IPC 是 1，那么这个 CPU 的 **MIPS 就是 4000**。注意的是，MIPS 是理论值，实际运行环境数量一般小于这个值。

CPU 缓存

一般 CPU 都有几级缓存，分别称为 L1、L2、L3，按这个顺序越来越慢，也越来越大，当然成本也越来越低。L3 有时候也称为 LLC（Last Level Cache），因为 L3 经常是最后一级缓存。多核 CPU 的情况下，一般 L1 和 L2 在核上，而 L3 是各个核共享的。

我用下面的表格来表示一款 2GHz 主频的 CPU，进行寄存器和缓存访问的一般延迟，分别用时钟周期数和绝对时间来表示，同时也给出在每个 CPU 核上面的字节大小。重复一下，数字仅供参考，因为每款 CPU 都不同。

缓存层级	访问时间（时钟周期）	访问时间（纳米，ns）	大小（Byte，每核）
寄存器	1	0.5 ns	8 Byte per 寄存器
L1	4	2 ns	64 KB
L2	12	6 ns	256 KB
L3 (LLC)	50	20 ns	2 MB
DRAM内存(本地)	200	100 ns	2 GB
DRAM内存(远端)	400	200 ns	2 GB

极客时间

比如一般 L3 的访问需要 40 个时钟周期，2GHz 主频的话就是 20 纳秒，大小一般是每个核平均下来 2MB 的样子。

为了方便对比，我们把内存的性能也放在同一个表格里。

值得一提的是现在的 NUMA（非统一内存访问，Non-Uniform Memory Access）处理器会有**本地**和**远端内存**的区别，当访问本地节点的内存是会快一些。

操作系统和应用程序相关

我们刚刚谈了硬件方面，下面看看软件，也就是操作系统和应用程序。

首先，你需要弄清楚如下的几个重要概念和指标。

1. 指令分支延迟

CPU 需要先获取指令，然后才能执行。获取下一条指令时需要知道指令地址，如果这个地址需要根据现有的指令计算结果才能决定，那么就构成了指令分支。CPU 通常会采取提前提取指令这项优化来提高性能，但是如果是指令分支，那么就可能预测错误，预先提取的指令分支并没有被执行。

指令分支判断错误（Branch Mispredict）的时间代价是很昂贵的。如果判断预测正确，可能只需要一个时钟周期；如果判断错误，就需要十几个时钟周期来重新提取指令，这个延迟一般在 **10 纳秒**左右。

2. 互斥加锁和解锁

互斥锁 Mutex（也叫 Lock）是在多线程中用来同步的，可以保证没有两个线程同时运行在受保护的关键区域。使用互斥锁的时候需要加锁和解锁，都是时间很昂贵的操作，每个操作一般需要几十个时钟周期，**10 纳秒**以上。

3. 上下文切换

多个进程或线程共享 CPU 的时候，就需要经常做上下文切换（Context switch）。这种切换在 CPU 时间和缓存上都很大代价；尤其是进程切换。在时间上，上下文切换可能需要几千个时钟周期，**1 微秒（1us）级别**。在缓存代价上，多级 CPU 缓存和 TLB 缓存都需要恢复，所以可能极大地降低程序线程和进程性能。

网络相关

互联网服务最终是要面向终端客户的，客户和服务器的延迟对用户的服务体验至关重要。

网络的传输延迟是和地理距离相关的。网络信号传递速度不可能超过光速，一般光纤中速度是每毫秒 200 公里左右。如果考虑往返时间（RTT，Round Trip Time），那么可以大致说每 100 公里就需要一毫秒。北京到深圳约 2,000 公里，RTT 就是 20 毫秒；上海到乌鲁木齐或者美国的东西海岸之间距离差不多 4,000 公里，所以 RTT 是 40 毫秒左右；中国到美国（比如北京到美国西海岸旧金山）差不多 10,000 公里，RTT 就是 100 毫秒。

在数据中心里面，一般的传输 RTT 不超过半毫秒。如果是同一个机柜里面的两台主机之间，那么延迟就更小了，小于 0.1 毫秒。

仔细想想的话，你就会发现直线距离本身还不够，因为数据是通过骨干网光纤网络传播的。如果光纤网络绕路的话，那么实际的 RTT 会超过以上估算数值。

另外要注意的是，传输延迟也取决于传输数据的大小，因为各种网络协议都是按照数据包来传输的，包的大小会有影响。比如一个 20KB 大小的数据，用 1Gbps 的网络传输，仅仅网卡发送延迟就是 0.2 毫秒。

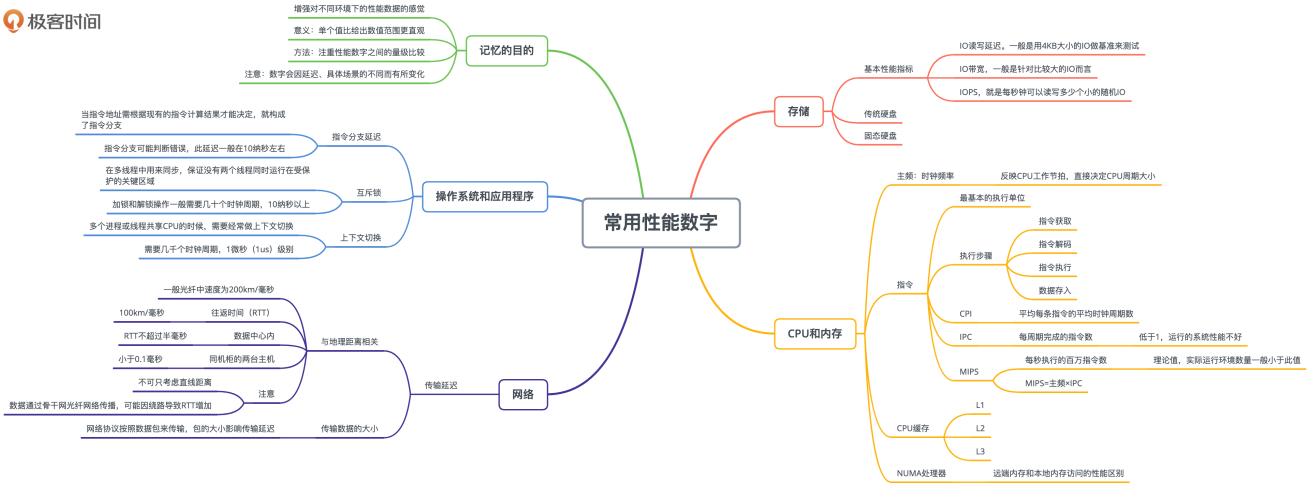
下面这个表格就总结了几种环境下的端到端的距离和 RTT。

端到端环境	距离	RTT
机柜内部	2米以内	< 0.1 ms
数据中心内部	100米以内	< 0.5 ms
北京→深圳	2000 公里	20 ms
上海→乌鲁木齐	4000 公里	40 ms
中国→美国	10000 公里	100 ms

极客时间

总结

今天讲了几十个平时经常用到的性能数字，希望起到抛砖引玉的效果。你可以在此基础上，在广度和深度上继续扩展记忆。



宋代诗人苏轼曾经作诗夸奖朋友：“前身子美只君是，信手拈来俱天成”，这里的“子美”是唐朝大诗人杜甫的字。这两句是夸朋友写文章写得好，能自由纯熟的选用词语或应用典故，用不着怎么思考，不必费心寻找，如同杜甫转世。

我们如果对各种性能数据足够熟悉，如掌上观纹，自然也就能达到那种对性能问题的分析信手拈来的境界。

思考题

假设你们公司有个互联网服务要上线，服务的要求是，用户端到端响应时间不能超过 40 毫秒。假设服务器在武汉，那么对上海的用户可以达到响应时间的要求吗？

欢迎你在留言区分享自己的思考，与我和其他同学一起讨论，也欢迎你把文章分享给自己的朋友。

© 版权归极客邦科技所有，未经许可不得传播售卖。 页面已增加防盗追踪，如有侵权极客邦将依法追究其法律责任。

上一篇　07 | 性能数据的展示：一图胜千言，说出你的数据故事

下一篇　09 | 性能测试的种类：如何快准狠地抓住一个测试的本质?

精选留言 (5)

写留言

Q
2019-12-13

我觉得有点困难。
1.用户和服务器所在的宽带运营商是否为同一家，如果不是同一家，相互间又加多了一层
2.IP包层层排队转发耗时
3.光纤传输耗时 800公里，往返就需要 8ms左右
4.应用后台处理耗时(接口调用、内部函数处理、DB查询处理...巴拉巴拉)...
展开

作者回复: 没错；理论值只是最小的可能。实际的端到端延迟最好根据实际的测量。

2

张智凯

2019-12-13

武汉到上海按800公里算，传输耗时16毫秒，如果客户端网络200Mbps ，发送一个20k的请求要100毫秒，如果是4k需要20毫秒，服务端按1Gps,响应包4kB，发送延迟4毫秒，加上服务器处理时间和客户端处理时间，感觉40毫秒不够用

展开

作者回复: 实际的耗时肯定比理论最小值大；大多少也取决于很多因素，所以最好要实际环境测量。

2

hello_world

2019-12-13

作为一名程序员还是喜欢这种直接的数据，虽然仅仅只是参考值，赞一个

1

Linuxer

2019-12-13

武汉到上海的距离是800多公里,RTT 不到10ms，我想端到端的开销，网络开销应该是大头吧，所以40ms的延迟应该是可以达到的

展开

1

Scott

2019-12-16

熟悉各种数据的baseline很重要，我给人指出性能问题，结果有人对着超过10%的sys cpu说不高啊~

还有，各种数据都是关联的，比如我们出过一个问题，kernel有泄漏消耗了很多sys cpu，但是看上去磁盘响应也慢，网络响应也慢，然后就有不求甚解的同学天天琢磨着优化网...

展开